

Р. Г. Владыкин, М. Ш. Гадельшин, Ю. Е. Долгирев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ЗАПРАВКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНТУРНОГО ТЕРМОСИФОНА

С использованием тепловизора исследовано влияние объема заправленного теплоносителя на работоспособность контурного термосифона при его различных ориентациях в пространстве.

Ключевые слова: *тепловизор, теплоноситель, контурный термосифон.*

The influence of the heat transfer fluid volume on loop thermosyphon efficiency has been studied by infrared camera. The study has been carried out by considering of different spatial positions.

Keywords: *infrared camera, heat transfer fluid, loop thermosyphon.*

Для охлаждения элементов силовой электроники успешно используются двухфазные контурные термосифоны [1]. Данные по их работоспособности при различных расположениях в пространстве представляют практический и научный интерес для разработчиков новых таких устройств.

В данной работе с использованием тепловизора исследовано влияние объема заправленного теплоносителя на работу контурного термосифона при его различных ориентациях в пространстве. На рис. 1 показаны уровни заправки контурного термосифона, представленные при горизонтальной ориентации испарителя. Испаритель термосифона выполнен в виде цилиндрического канала диаметром 9 мм и длиной 243 мм и предназначен в основном для работы в горизонтальном положении.

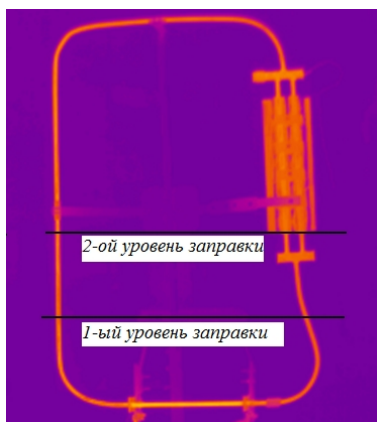


Рис. 1. Уровни заправки термосифона, представленные при горизонтальной ориентации испарителя

В реальных условиях могут иметь место значительные изменения положения испарителя от горизонтального. В исследовании подвод тепла осуществляется посредством организации электрического тока по корпусу термосифона в зоне испарения. Такой метод подвода тепла обеспечивает постоянство подводимой на единицу площади испарителя тепловой мощности, определяемой по измерениям тока и напряжения. В данной работе анализируется работа термосифона при достаточно большой плотности теплового потока $q = 1,5 \text{ Вт/см}^2$ по данным тепловизионных измерений распределения температуры по контуру термосифона.

На рис. 2 представлено типичное тепловизионное изображение работающего термосифона, в данном случае при наклоне $\varphi = +53^\circ$ (1-й уровень заправки). По данным таких тепловизионных съемок с помощью программы «ThermaCAM Researcher» рассчитывалось распределение температуры по контуру термосифона.

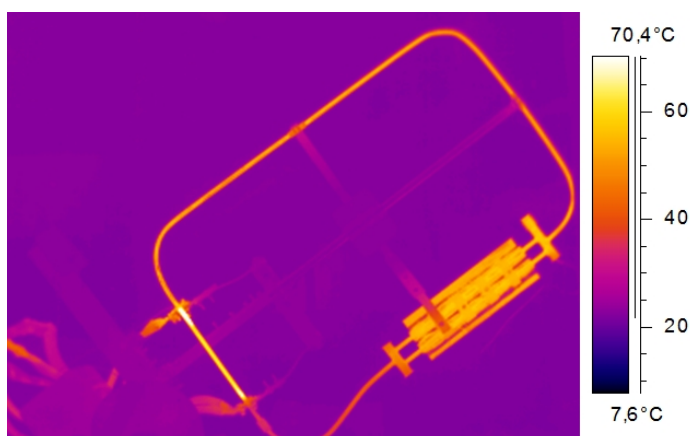


Рис. 2. Тепловизионное изображение работающего термосифона при наклоне $\varphi = +53$ (1-й уровень заправки)

На рис. 3 представлено распределение температуры по длине испарителя в виде величины τ , вычисляемой как разность между локальной температурой испарителя и средней температурой радиатора. Локальные температуры испарителя измерялись в равномерно разделенных участках по длине испарителя. Использование величины τ удобно тем, что по данным ее измерений вычисляется коэффициент теплопередачи как отношение плотности теплового потока q к средней по длине испарителя величине τ .

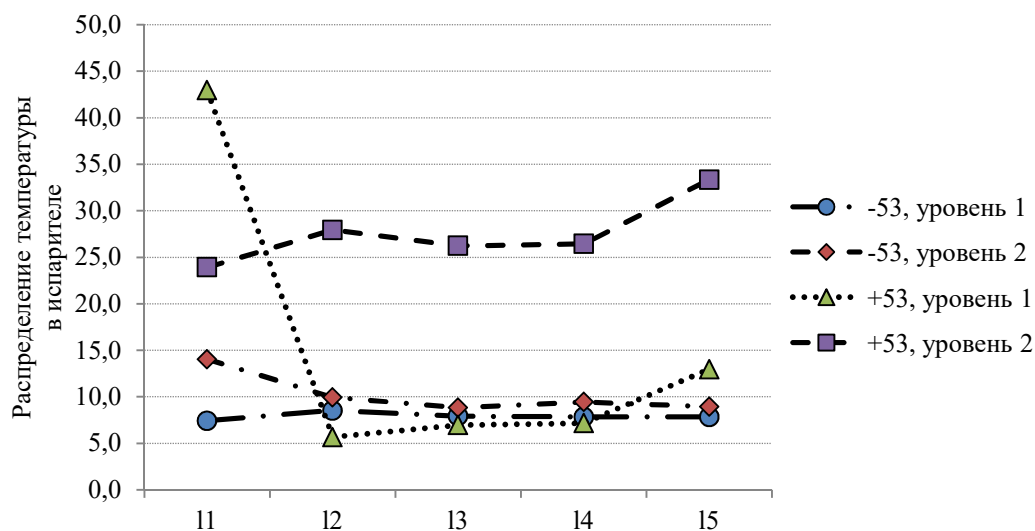


Рис. 3. Распределение температуры в равномерно разделенных участках по длине испарителя слева направо

Количество заправленного теплоносителя влияет на функционирование термосифона различным образом. Во-первых, может иметь место прекращение поступления теплоносителя к удаленным крайним участкам испарителя, что особенно проявляется при малой заправке в условиях значительного увеличения высоты этих участков (при значительных наклонах φ около 50°). Так из рис. 3 следует, что для 1-го уровня заправки при наклоне $\varphi = +53^\circ$ имеет место перегрев крайнего слева участка 11 испарителя (также на рис. 2 отчетливо видно, что на этом участке наблюдаются повышенные значения температур).

Во-вторых, теплопередающая способность термосифона существенным образом зависит от эффективного использования площади конденсации. Для анализа функционирования конденсатора термосифона рассмотрим распределение температуры по высоте конденсатора, которую охарактеризуем величиной θ , определяемой как разность между средней температурой испарителя и локальной температурой конденсатора. На рис. 4 показано распределение величины θ снизу вверх по высоте конденсатора по равномерно разделенным участкам.

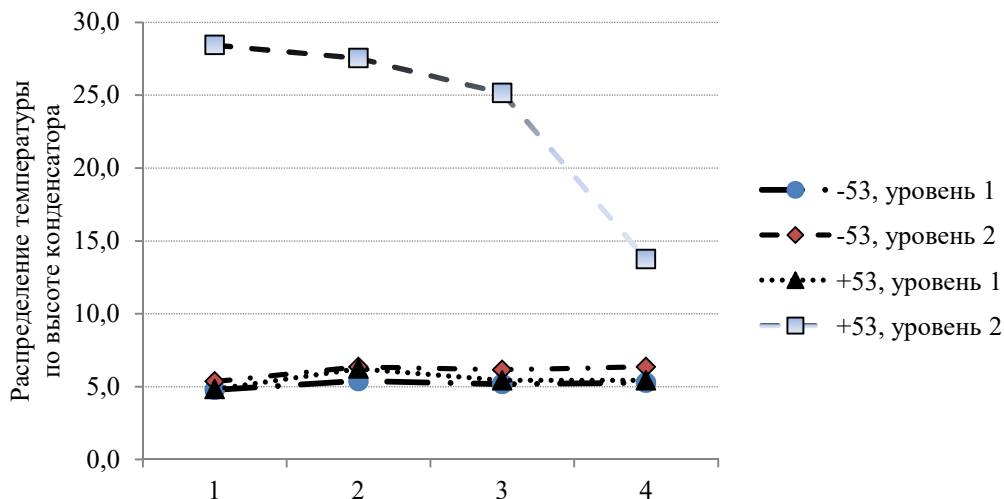


Рис. 4. Распределение температуры, характеризуемой величиной θ , по высоте конденсатора снизу вверх по равномерно разделенным участкам

Видно, что при 2-м уровне заправки и наклоне $\varphi = +53^\circ$ конденсатор плохо прогревается паром; фактически конденсация пара имеет место лишь на верхнем 4-м участке конденсатора. Т. е. конденсатор плохо функционирует, и обусловлено это избыточным количеством заправленного теплоносителя. Конденсатор оказывается на большей своей части залит теплоносителем, при этом площадь конденсации значительно уменьшается, что приводит к существенному уменьшению коэффициента теплопередачи от нагревателя к телу сброса тепла, в нашем случае — к радиатору.

Конструкция термосифона была разработана в предположении, что при горизонтальном расположении испарителя циркуляция теплоносителя по контуру термосифона будет осуществляться следующим образом: вниз от конденсатора к испарителю и далее от испарителя вверх к верхнему коллектору конденсатора, т. е. по часовой стрелке для наблюдателя, расположенного со стороны тепловизора. Было выявлено, что направление циркуляции теплоносителя не является однозначно заданной в соответствии с конструкцией контурного термосифона, а зависит от ориентации последнего в пространстве, главным образом от изменения положения испарителя от горизонтального и от расположения конденсатора над испарителем. Это подтверждается анализом температур транспортных участков термосифона (адиабатических зон контура термосифона) слева и справа от испарителя.

При положительных углах наклона вплоть до $\varphi = +53^\circ$ наблюдается функционирование термосифона, сопровождающееся циркуляцией теплоносителя по часовой стрелке. Последнее имеет место и при небольших отрицательных углах наклона до значения $\varphi = -20^\circ$. Но при достаточно больших отрицательных углах наклона

направление циркуляции теплоносителя изменяется. Это было обнаружено, в частности, для углов наклона φ , равных -35 и -53° . При циркуляции по часовой стрелке температура адиабатических зон слева на $15 \div 20^\circ$ превышала температуру адиабатических зон справа, а при циркуляции против часовой стрелки имело место обратное. Оценки коэффициента теплоотдачи при кипении в испарителе по значениям температур в адиабатической зоне дали достаточно близкие значения: $1500 \div 1600$ и $1950 \div 1980$ Вт/м²К соответственно при циркуляции по часовой стрелке и наоборот.

Были рассчитаны значения коэффициентов, характеризующих теплопередачу от нагревателя-испарителя к радиатору (приемнику тепла от конденсатора): 2300 (1-й уровень заправки) и 600 Вт/м²К (2-й уровень заправки) в случае циркуляции по часовой стрелке при $\varphi = +53^\circ$; и 1900 (1-й уровень заправки) и 1600 Вт/м²К (2-й уровень заправки) в случае циркуляции против часовой стрелки при $\varphi = -53^\circ$. Таким образом, почти в три раза заниженные значения коэффициента теплопередачи имели место в случае 2-го уровня заправки при $\varphi = +53^\circ$; этот факт отражается и на рис. 3.

Таким образом, анализ результатов тепловизионных измерений распределения температур по контуру термосифона показал, что может быть подобран определенный уровень заправки, соответствующий 1-му уровню заправки, при котором распределение температуры по длине испарителя или на отдельных, достаточно длинных его участках в условиях значительных наклонов в обе стороны до 50° характеризуется как постоянное, если на этих участках имеет место стабильное кипение. При этом уровне заправки наблюдаются также и высокие значения теплопередающей способности термосифона.

Литература

1. Пиоро А. С., Пиоро А. Л. Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности. Киев: Наукова думка, 1988.